

## **El análisis rápido de nitrato en savia como herramienta para el manejo de la fertilización nitrogenada en los cultivos hortícolas**

Maria Carmen Rodrigo Hernández

Departamento de Recursos Naturales. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

Apdo. Oficial 46113. Moncada (Valencia).

e-mail: [mrodrigo@ivia.es](mailto:mrodrigo@ivia.es)

**Palabras clave:** nutrición plantas, diagnóstico nutricional, nitrógeno.

### **El análisis de savia como indicador del estado nutricional del cultivo**

El análisis de plantas se ha empleado como guía para el manejo de la fertilización de los cultivos. En cultivos anuales, la función primaria de este tipo de análisis es diagnosticar problemas, o bien determinar y/o controlar el estado nutricional a lo largo del ciclo de cultivo.

Los análisis rápidos para la determinación de las concentraciones de nitrato- N y/o potasio en savia son una alternativa a los métodos convencionales de análisis (Hartz & Hochmuth, 1999). Los análisis rápidos proporcionan a los agricultores una medida casi inmediata del estado nutricional del cultivo, suministrando una información vital para la aplicación o no, de nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo. Este tipo de análisis puede ser una herramienta especialmente útil en el manejo racional de la fertilización.

El análisis en fresco del contenido de nutrientes en savia se ha empleado como un indicador del estado nutricional del cultivo desde hace varios años. En los años 80, comenzaron diversos trabajos con procedimientos rápidos para la determinación de nitrato, P y K en savia (Jemison & Fox, 1988; Prasad & Spiers, 1984). En ellos se utilizaron varillas analíticas para la determinación de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  (Merck, Darmstadt, Alemania) o métodos colorimétricos (HACH, Loveland, Colorado). En los trabajos realizados por Coltman (1987; 1988) se emplearon para la determinación de valores críticos de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  en tomate, tanto varillas analíticas y como métodos de electrodo selectivo en laboratorio.

En los años noventa y hasta la actualidad, el análisis rápido de savia ha ido adquiriendo gran relevancia. En primer lugar, debido al desarrollo de aparatos portátiles como los electrodos selectivos de iones (Cardy Meter, Horiba Ltd, Kyoto, Japón) o los reflectómetros (Merck, Darmstadt, Alemania) que han facilitado y permitido determinar la concentración de nitrato y/o potasio en la savia de forma rápida. En segundo lugar, gracias a los trabajos realizados por los grupos liderados por G.J. Hochmuth en la Universidad de Florida y T.K. Hartz en la Universidad de California, que han estudiado numerosas especies hortícolas y han proporcionado rangos óptimos del contenido de nitrato y potasio en savia en distintos estadios de crecimiento del cultivo, así como el procedimiento óptimo de toma de muestras y de lectura.

#### *El caso del nitrato*

El nitrógeno es uno de los principales elementos nutritivos en las plantas que afecta al crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de los cultivos. Además es uno de los elementos más difíciles de optimizar mediante el abonado por su susceptibilidad de lixiviación, desnitrificación y volatilización. El aumento del coste de los fertilizantes, así

como una mayor preocupación de la calidad ambiental, ha impulsado el interés por la mejora de la eficiencia en el uso de los fertilizantes.

Algunos cultivos hortícolas se fertilizan en exceso, especialmente en lo relativo al nitrógeno, en detrimento de la calidad del agua (Ramos, 1999) y con el riesgo para la salud humana derivado de los elevados niveles de nitrato en algunas hortalizas (Blom-Zandstra, 1989; Muro *et al.*, 2001). Por ello un correcto manejo de la fertilización nitrogenada comportará beneficios tanto en la salud humana como en el medio ambiente. El análisis rápido de nitratos en savia se presenta como una herramienta de especial utilidad para la mejora del abonado.

### **Especies hortícolas en las que se ha estudiado el análisis de nitrato en savia**

Aunque el análisis de nitrato en savia se ha estudiado en muchos cultivos extensivos (Smith *et al.*, 1998; Hoel, 1999) y ornamentales (Atland y cols., (2003) esta revisión se centrará en su aplicación a los cultivos hortícolas.

#### *Hortalizas aprovechables por el fruto*

**Tomate.** Este cultivo ha sido objeto de numerosos estudios en las distintos tipos de cultivo intensivo bajo invernadero (Coltman, 1987) o en campo (Locascio *et al.*, 1997), ya sea empleando el electrodo selectivo (Hartz *et al.*, 1993; 2002; Hochmuth, 1994) o el reflectómetro portátil (Coltman, 1988). Debido a la disminución del contenido en nitrato en savia conforme avanza el desarrollo, es necesario establecer los valores de suficiencia en función del estadio fisiológico del cultivo. A modo de ejemplo, los niveles establecidos en Florida, para el estadio de primeras flores abiertas y primera cosecha son: 1000-1200 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·L<sup>-1</sup> y 300-400 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·L<sup>-1</sup>, respectivamente (Hochmuth, 1994).

**Pimiento.** El análisis de nitratos-N en savia ha demostrado ser un buen indicador del estado nutricional del pimiento en lo que a N se refiere, así como en la futura respuesta en el rendimiento (Moreno *et al.*, 2003; Olsen & Lyons, 1994). Tal y como ocurre en tomate, el contenido en nitrato-N decrece lo largo del ciclo de cultivo, los valores óptimos deben establecerse para cada estadio de crecimiento (Hartz *et al.*, 1993; Hartz *et al.*, 1993; Hochmuth, 1994).

#### *Hortalizas aprovechables por las hojas*

**Lechuga.** Alt y Füll (1988) demostraron que las diferentes dosis de N aplicadas influyen en la concentración de nitrato en savia del nervio central, y obtuvieron una concentración crítica de 2300 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·L<sup>-1</sup> por debajo de la cual recomiendan una nueva aplicación de N. De igual forma Huett y White (1992) afirman que el contenido de nitrato-N en savia puede emplearse para diferenciar aportes de N adecuados y/o deficientes en lechuga.

#### *Grupo de las Brassicas ssp.*

La idoneidad del análisis rápido de nitratos savia en el manejo de la fertilización nitrogenada se ha estudiado en coliflor (Kubota *et al.*, 1996; Hartz, 2002) y en brócoli (Hartz *et al.*, 1993; Kubota *et al.*, 1997; Hartz, 2002). El método de análisis más empleado ha sido el electrodo selectivo portátil, si bien el reflectómetro portátil Nitracheck también se ha utilizado (Bélec *et al.*, 2001).

#### *Patata*

Es uno de los cultivos en los que el análisis del contenido de nitrato en savia ha sido ampliamente estudiado, ya sea mediante métodos colorimétricos (Vitosh & Silva,



1994; Laurent *et al.*, 1997) o bien mediante electrodo selectivo portátil (Waterer, 1997; Errebhi *et al.*, 1998). Tanto la concentración crítica de nutrientes (Roberts *et al.*, 1989) como el rango crítico de nutrientes (Waterer, 1997; Errebhi *et al.*, 1998) se ha determinado para diversas regiones y cultivares en distintos estadios de crecimiento.

### **Relación entre el análisis de nitrato en savia y análisis de N total en la hoja**

Tanto el contenido en N total como la concentración de nitrógeno nítrico en los tejidos de la planta se emplean como indicadores de suficiencia en N (Hartz & Hochmuth, 1999). El contenido en N total de la hoja varía muy poco con el tiempo, proporcionando una tendencia a largo plazo de la disponibilidad de N y muestra si ésta ha sido adecuada. Sin embargo, no informa directamente del suministro de N del suelo.

La mayoría de las concentraciones críticas de nutrientes en las hojas están basadas en el análisis en materia seca (Hochmuth, 2000). Estos análisis requieren un período de tiempo bastante largo, entre el muestreo y la obtención de los resultados, hecho que puede retrasar la corrección de posibles carencias.

La hoja recién madura, una parte de la planta muy activa, es la que se suele emplear en el análisis nutricional en muchos cultivos (Kubota *et al.*, 1997). Tanto el pecíolo como el nervio central, son elementos de transporte de nutrientes desde la zona radical y proporcionan, por tanto, información sobre su suministro. En general, se han observado buenas correlaciones entre el contenido de nitrato en savia y en materia seca (Kubota *et al.*, 1997; Prasad & Spiers, 1984; Hartz *et al.*, 1994).

### **Relación entre el análisis de nitrato en savia y N mineral en el suelo.**

El contenido en nitrógeno nítrico del pecíolo representa aquella parte que todavía no ha sido transformada en compuestos orgánicos de la planta. Es más sensible al suministro de N del suelo, y en términos generales un bajo contenido de nitrógeno nítrico en el pecíolo es un indicador de una baja disponibilidad de nitrógeno nítrico en el suelo.

En las etapas iniciales del desarrollo del cultivo, cuando la absorción de N es baja pueden detectarse deficiencias en el N mineral disponible en el suelo, conforme el sistema radical alcanza su máximo desarrollo puede darse “consumo de lujo”. Por tanto, desde mitad del ciclo hasta la cosecha, los análisis de tejidos i.e savia, se recomiendan como indicadores del estado nutricional del cultivo (Hartz & Hochmuth, 1999).

Según Matthäus y Gysi (2001) el análisis rápido de savia es una herramienta que complementa el análisis del N mineral en el suelo (N<sub>min</sub>), debido a las buenas correlaciones obtenidas entre el N<sub>min</sub> y las concentraciones de nitrato en savia en distintas hortalizas.

### **Factores a considerar**

Aunque el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la savia es un indicador muy sensible de la nutrición nitrogenada, está influenciado por una serie de factores que incluyen la edad de la planta (Hartz & Hochmuth, 1999), la posición de la hoja (Williams & Maier, 2002), las condiciones climáticas previas al muestreo (Hartz *et al.*, 1994), las interferencias iónicas, las prácticas de abonado y la forma en la que el N se encuentra en la zona radicular. Los niveles de nitrato en planta pueden también fluctuar a lo largo del día (Hartz *et al.*, 1994; MacKerron *et al.*, 1995). Todos estos factores influyen en el contenido de nitrato en savia, y deben ser caracterizados antes del establecimiento de guías para la interpretación los datos. A continuación se describen algunas recomendaciones:

### *Temperatura y hora de muestreo*

Tanto la temperatura como el momento del día pueden influenciar el contenido de nitrato en savia. El momento más adecuado de muestreo coincide con las horas de menor radiación solar, preferentemente entre 8:00 y 12:00 a.m. Un factor relevante sería la estandarización de la temperatura en la cual se desarrolla el muestreo.

### *Edad de la hoja*

Es uno de los factores clave para la obtención de resultados consistentes. La hoja a muestrear coincide con la hoja recién madura, en la que los tejidos han alcanzado su máximo tamaño, es decir que han finalizado su expansión, generalmente 3-4 nudos por debajo del punto de crecimiento. Otro factor que facilita la elección de la hoja adecuada es el color, las hojas recién maduras han cambiado su color del verde pálido al verde oscuro propio de cada especie.

### *Parte de la Hoja*

En muchos cultivos el pecíolo es fácilmente identificable. Para aquellos cultivos con hojas compuestas i.e. tomate, el pecíolo consiste en todo el tallo de la hoja eliminando los peciolillos y los foliolos. En hortalizas de hoja, como coles, espinacas y lechugas, la savia se extrae del nervio central.

### *Número de hojas*

Para que el diagnóstico nutricional sea significativo, los análisis de savia deben basarse en muestras representativas. A modo de ejemplo, si la parcela se considera uniforme, una muestra representativa debe constar de 15-20 pecíolos tomados de plantas sanas y representativas. Conviene anotar el estadio de desarrollo del cultivo ya que tanto el contenido en N total como la concentración de nitrógeno nítrico descienden conforme el cultivo se desarrolla.

### **Instrumentos de medida. Equipos portátiles**

Los equipos de análisis se calibran con estándares de concentración conocida, ya sean proporcionados por el fabricante o bien preparados en laboratorio. En los equipos colorimétricos la calibración revelará si los reactivos todavía mantienen sus propiedades, puesto que pueden deteriorarse con el tiempo y sobretodo con la exposición a la luz y a elevadas temperaturas.

En aquellos equipos que se basan en un electrodo selectivo, la calibración con estándares debe ser más frecuente, cada 10-12 muestras. Además, las lecturas deben realizarse a la sombra o en laboratorio, ya que la radiación directa sobre el sensor puede alterar su funcionamiento (Hartz & Hochmuth, 1999).

### *Equipos basados en colorimetría*

#### ▪ MERCK (Darmstadt, Alemania)

La varilla analítica consiste en una varilla de plástico con dos pequeñas zonas sensibles al nitrato que desarrollan un color cuya intensidad varía en función del contenido en nitrato de la solución. No se necesitan reactivos, y la determinación de nitrato se realiza mediante comparación con estándares coloreados un minuto. Esta tabla de colores la proporciona el fabricante. Para facilitar la determinación de nitrato,



posteriormente se han desarrollado reflectómetros portátiles Nitracheck<sup>®</sup>, RQFlex<sup>®</sup> y RQFlexplus<sup>®</sup> de diferente rango de medida. El procedimiento de lectura consiste en insertar durante 2 segundos una varilla analítica Reflectoquant<sup>®</sup> en la muestra de savia recién extraída, eliminando el exceso de líquido mediante una sacudida y esperando durante 60 s al desarrollo del color. A continuación, la varilla se introduce en el reflectómetro para su lectura.

- **HACH (Loveland, Colorado)**

El aparato consiste en un comparador dotado de 2 compartimentos para la colocación de los viales con la muestra. La savia una vez diluida se coloca en cada uno de los viales. Uno de ellos se aloja en uno de los compartimentos del comparador portátil. En el otro vial se vierte el contenido de uno de los reactivos en polvo (suministrados junto el equipo) y la mezcla se agita durante 1 minuto para su completa disolución. Una vez mezclado, el tubo se coloca en el compartimento libre del aparato. El disco de color del comparador se va girando hasta que el color de la rueda coincide con el color del tubo más el reactivo. La concentración de N-nitrato resultante se lee directamente del equipo

#### *Electrodo selectivo*

- **Cardy Meter (Horiba Ltd, Kyoto, Japón)**

De dos a tres gotas de savia recién extraída se colocan en papel absorbente sobre el sensor del electrodo portátil. La concentración del ión se obtiene mediante la lectura directa en la pantalla del equipo electrodo digital, según la escala 1x, 10x, 100x que varía en función del contenido en nutriente en la savia. En el mercado existen sensores disponibles para nitrato y potasio. Los equipos deben almacenarse en lugares frescos y secos. El reemplazo del sensor es recomendable cuando se hayan superado las 500 lecturas.

### **Tratamiento de las muestras**

#### *Extracción de savia*

Para extraer la savia de los pecíolos en muestras pequeñas, puede emplearse un prensador de ajos convencional. Cuando el número de muestras a procesar es considerable, una prensa de savia hidráulica facilita enormemente el trabajo, así como en aquellas especies que tienen un contenido en savia muy bajo tal como ocurre en fresa y/o pimiento. En otras especies también puede utilizarse un rodillo metálico.

#### *Almacenamiento pecíolos*

Aunque lo ideal sería la lectura inmediata de las muestras una vez recolectadas, el elevado número a procesar en ocasiones, requiere su almacenamiento para que conserven al máximo su contenido hídrico y su contenido en nitrato/potasio varíe lo menos posible. Los pecíolos frescos sin trocear pueden ser almacenados en hielo hasta 8 horas e incluso congelados hasta el día siguiente. Los limbos deben desecharse y los pecíolos se colocan dentro de bolsas de plástico en el interior del congelador. Los pecíolos pueden mantenerse a temperatura ambiente (25 °C) dentro de bolsas de plástico hasta un máximo de dos horas. Solamente los pecíolos pueden almacenarse, nunca la savia.

### **Rango temporal para las lecturas**

La medida del contenido en nutrientes de la savia extraída debe realizarse inmediatamente a su extracción, ya que la exposición de la savia al aire puede variar el contenido en nitrato (Hochmuth *et al.*, 2000).

### **Interpretación de los resultados**

El principal objetivo de los trabajos realizados con el análisis rápido de savia ha sido establecer para las distintas especies, y/o cultivares, y bajo distintos sistemas de cultivo (invernadero y/o aire libre con o sin acolchado plástico) y condiciones climáticas, los rangos críticos de nutrientes en cada uno de los estadios de crecimiento.

Los resultados obtenidos por Hochmuth y col. (2000) en Florida o Hartz en California, proporcionan los rangos críticos de nutrientes para diversos cultivos hortícolas en aquellas fases del desarrollo del cultivo donde todavía podemos corregir las posibles carencias nutricionales. Según estas tablas, si el valor obtenido se sitúa por debajo del mínimo en un estadio del crecimiento concreto será necesario realizar un aporte de abono.

Es importante destacar la controversia que suscitan estos métodos. Por ejemplo, MacKerron y cols. (1995) discrepan de la bondad y de la fiabilidad del método en patata, y Williams y Maier (2002) desaconsejan su uso en coles de Bruselas debido a la falta de correlación entre el contenido de nitrato en savia y el rendimiento, junto con el descenso acusado de la concentración de nitrato en savia a lo largo del ciclo de cultivo.

### **Trabajos en España con hortícolas**

Diversos grupos han estudiado la utilidad del análisis de savia en cultivos hortícolas al aire libre en Extremadura (García *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2003) y en cultivos bajo invernadero en Almería (Thompson *et al.*, 2002). En Valencia, (Rodrigo *et al.*, 2004) evaluaron dos métodos rápidos de análisis de savia en alcachofa.

### **Conclusiones**

El análisis rápido de savia es un buen indicador del estado nutricional del cultivo. Es de manejo sencillo y requiere de poco material para su utilización. Permite obtener de forma rápida, barata y precisa la evolución del contenido en nutrientes del cultivo y esta información junto con los niveles críticos en las distintas fases del cultivo se puede emplear para decidir sobre la conveniencia de efectuar un abonado para remediar posibles deficiencias nutritivas.

### **Referencias**

- Alt D., Füll A.M. 1988. Control of the nitrogen status of lettuce by nitrate analysis of plant sap. *Acta Horticulturae* 222, 23-27.
- Atland J.E., Gilliam C.H., Keever G.J., Edwards J.H., Sibley J.L., Fare D.C. 2003. Rapid determination of nitrogen status in pansy. *HortScience* 38, 537-541.
- Bélec C., Villeneuve S., Coulombe, J., Tremblay, N. 2001. Influence of nitrogen fertilization on yield, hollow stem incidence and sap nitrate concentration in broccoli. *Canadian Journal of Plant Science* 81, 765-772.
- Blom-Zandstra M., 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology* 115, 553-561.
- Coltman R.R., 1987. Sampling considerations for nitrate quick tests of greenhouse grown tomatoes. *Journal of American Society of Horticultural Sciences* 112, 922-927.



- Coltman R.R., 1988. Yields of Greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience* 23, 148-151.
- Errebhi M., Rosen C.J., Birong D.E., 1998. Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated "Russet Burbank" potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29, 23-35.
- García M.I., Prieto M.H., González J.A., Moñino M.J., 2003. Producción, calidad y estado nutricional de un cultivo de lechuga bajo diferentes sistemas de producción, en las vegas del Guadiana. *Actas de Horticultura* 39.
- Hartz T.K. 2002. Efficient management for cool-season vegetables. <http://vric.ucdavis.edu/veginfo/fertilizer/nitrogenmanagement.pdf>. UC Davis, Vegetable Research and Information Center. 11-4-2005.
- Hartz T.K., Hochmuth G.J. 1999. Fertility management of drip-irrigated vegetables. <http://vric.ucdavis.edu/veginfo/topics/fertilizer/fertilitymanagement.pdf>. 1999. UC Davis. Vegetable Research and information Center. 11-4-2005.
- Hartz T.K., LeStrange M., May D.M., 1993. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. *HortScience* 28, 1097-1099.
- Hartz T.K., Smith R.F., LeStrange M., Schulbach K.F., 1993. On-farm monitoring of soil and crop nitrogen status by nitrate-selective electrode. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24, 2607-2615.
- Hartz T.K., Smith R.F., Schulbach K.F., LeStrange M., 1994. On farm nitrogen tests improve fertilizer efficiency, protect groundwater. *California agriculture* 48, 29-32.
- Hochmuth G.J., Maynard C., Vavrina F., Hanlon E.A., Simmone E. 2000. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. SS-VEC-42. University of Florida. Cooperative Extension Service.
- Hochmuth G.J. 2000. Nitrogen management practices for vegetable production in Florida. 2000. Circular 1222. IFAS, University of Florida. Circular 1222.
- Hochmuth G.J., 1994. Efficiency ranges for nitrate nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology* 4, 218-222.
- Hoel B.O., 1999. Determination of nitrogen status in winter wheat by measuring basal stem tissue sap nitrate concentration. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B. Soil and Plant Science* 49, 82-91.
- Huett D.O., White E., 1992. Determination of critical nitrogen concentrations of lettuce (*Lactuca sativa* L cv. Montello) grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32, 759-764.
- Jemison J.M., Fox R.H., 1988. A quick test procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19, 1569-1582.
- Kubota A., Thompson T.L., Doerge T.A., Godin R.E., 1996. A petiole sap nitrate test for cauliflower. *HortScience* 31, 934-937.
- Kubota A., Thompson T.L., Doerge T.A., Godin R.E., 1997. A petiole sap nitrate test for broccoli. *Journal of Plant Nutrition* 20, 669-682.
- Laurent F., Lancelot F., Lavaud F., 1997. Teneur en nitrate du jus de pétiole: propositions de valeurs diagnostiques et validation comme outil de pilotage de la fertilisation azoté de la pomme de terre. *Collection ITCF-ITPT* 75-84.
- Locascio S.L., Hochmuth G.J., Rhoads, F.M., Olson S.M., Hanlon E.A., 1997. Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. *HortScience* 32, 230-235.

- MacKerron, D.K.L., Young M.W., Davies H.V., 1995. A critical assesment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition in potato crop. *Plant and Soil* 172, 247-260.
- Matthäus D., Gysi C., 2001. Plant-sap analysis in vegetables- a tool to decide on nitrogen top dressing. *Acta Horticulturae* 563, 93-102.
- Moreno V., Prieto M.H, Moñino M.J., Labrador J., García M.I., 2003. Evaluación de métodos rápidos de análisis de nitrógeno y potasio en savia para seguimiento del estado nutricional de un cultivo de pimiento para pimentón. *Actas de Horticultura* 39, 600-602.
- Muro, J., Irigoyen I., Lamsfus C., 2001. Acumulación de nitratos en hortalizas de hoja. *Actas de Horticultura*.
- Olsen J.K., Lyons D.J., 1994. 'Petiole sap nitrate is better than total nitrogen in dried leaf for indicating nitrogen status and yield responsiveness of capsicum in subtropical Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34, 835-843.
- Prasad, M., Spiers T.M., 1984. Evaluation of a rapid method for plant sap nitrate analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15, 673-679.
- Ramos, C., 1999. El efecto de las prácticas agrarias en la contaminación de las aguas por nitrato. *Boletín de la Sociedad Española de las Ciencias del Suelo* 4, 73-85.
- Roberts S., Cheng H.H., Farrow F.O., 1989. Nitrate Concentration in Potato Petioles from periodic applications of <sup>15</sup>N-labelled ammonium nitrate fertilizer. *Agronomy Journal* 81, 271-274.
- Rodrigo M.C., Ginestar J., Ramos C., 2004. Evaluation of rapid methods for nitrate sap analysis in artichoke. *Acta Horticulturae ISHS Symposium "Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production" Perugia, Italy, 7-10 June 2004.*
- Smith J.H., Silvertooth J.C., Norton E.R. 1998. Comparison of the two methods for the analysis of petiole nitrate nitrogen concentration in irrigated cotton. *Cotton: A College of Agriculture Report* Circular AZ-1006. 30-3-2005.
- Thompson, R., Gallardo M., Segovia C., 2002. Evaluation of two systems for rapid on-farm nitrate measurement in fertigation solutions, plant sap and extracted soil solution. *Proceedings European Society of Agronomy. Cordoba 2002. VII Congress of the European Society for Agronomy. Cordoba. Spain. 15-18 July 2002.*
- Vitosh M.L., Silva G.H, 1994. A rapid petiole sap nitrate-nitrogen test for potatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25, 183-190.
- Waterer D., 1997. Petiole sap nitrate nitrogen testing as a method for monitoring nitrogen nutritioin of potato crops. *Canadian Journal of Plant Science* 77, 273-278.
- Williams C.M.J., Maier N.A., 2002. Use of petiolar sap nitrate for assessing nitrogen status of irrigated brussels sprout crops. *Journal of Plant Nutrition* 25, 1291-1301.